



## Badanie diagnostyki urządzeń elektrowni słonecznej w logice 2- i 3-wartościowej

RADOSŁAW DUER<sup>1</sup>, STANISŁAW DUER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki,  
75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2

<sup>2</sup>Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny,  
75-620 Koszalin, ul. Raclawicka 15-17, rduer@wp.pl, Stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano problematykę badania wypracowanych diagnoz w logice 2- i 3-wartościowej przez system diagnostyczny (DIAG 2) dla urządzeń elektrowni słonecznej. W tym celu przedstawiono i opisano model funkcjonalno-diagnostyczny urządzeń elektrowni słonecznej. Na podstawie opracowanego modelu badanego obiektu wyznaczono zbiór elementów podstawowych oraz zbiór sygnałów diagnostycznych, które są wypracowane przez  $j$ -te elementy funkcjonalne obiektu. Przedstawiono także krótki opis wykorzystywanego w badaniu inteligentnego systemu diagnostycznego (DIAG 2). System (DIAG 2) jest autorskim opracowaniem autorów. Program diagnostyczny w systemie (DIAG 2) pracuje na zasadzie porównania zbioru wektorów sygnałów diagnostycznych z ich wektorami wzorcami. W wyniku porównania sygnałów wyznaczane są przez sieć neuronową elementarne metryki rozbieżności wektorów sygnałów diagnostycznych. Na podstawie metryk odległości różnicowej następuje wnioskowanie systemu co do rozpoznania stanu elementów podstawowych obiektu. **Słowa kluczowe:** diagnostyka techniczna, wnioskowanie diagnostyczne, logiki wielowartościowe, sztuczna inteligencja

DOI: 10.5604/01.3001.0009.9485

### 1. Wstęp

W diagnostyce technicznej stosowana jest logika dwuwartościowa, w której „1” określa stan zdatny, a „0” niezdatny. Celem tego rodzaju diagnozowania jest rozpoznanie stanu niezdatności (uszkodzenia), aby dopiero w kolejnym badaniu diagnostycznym zlokalizować element generujący ten stan [1, 2-13]. W przypadku organizacji działań

obsługowych obiektu ważne znaczenie ma nie tylko rozpoznanie bieżącego stanu (zdatny i niezdatny), lecz także rozpoznanie stanów uprzedzających wystąpienie w przyszłości stanu niezdatności. Z tego względu zastosowanie logiki dwuwartościowej stało się niewystarczające [1-3, 4-6, 7-13]. Stąd rozwinęła się diagnostyka z wnioskowaniem w logice trójwartościowej. W przypadku organizacji działań obsługowych ważne znaczenie ma rozpoznanie w obiekcie stanów uprzedzających bezpośrednio wystąpienie stanu niezdatności, takim stanem jest stan zdatności niepełnej. Dlatego zaczęto w diagnostyce technicznej stosować logikę trójwartościową opracowaną przez J. Łukaszewicza [7]. Prace S. Duer [4-9] rozwinęły diagnostykę trójwartościową, głównie poprzez zastosowanie w niej sztucznych sieci neuronowych (typu RBF). Stosowane w niej wnioskowanie diagnostyczne wyróżnia oprócz stanu zdatności „2” i niezdatności „0” stan niepełnej zdatności — „1”. Jak wykazano w literaturze [4-8], wprowadzenie tego dodatkowego stanu (stanu zdatności pośredniej) pozwala na zwiększenie możliwej do uzyskania informacji diagnostycznej. Brakuje opracowań, które jednoznacznie i praktycznie wskazywałyby na jakościową wyrażoną liczbowo różnicę diagnostyki 3-wartościowej w stosunku do diagnostyki 2-wartościowej.

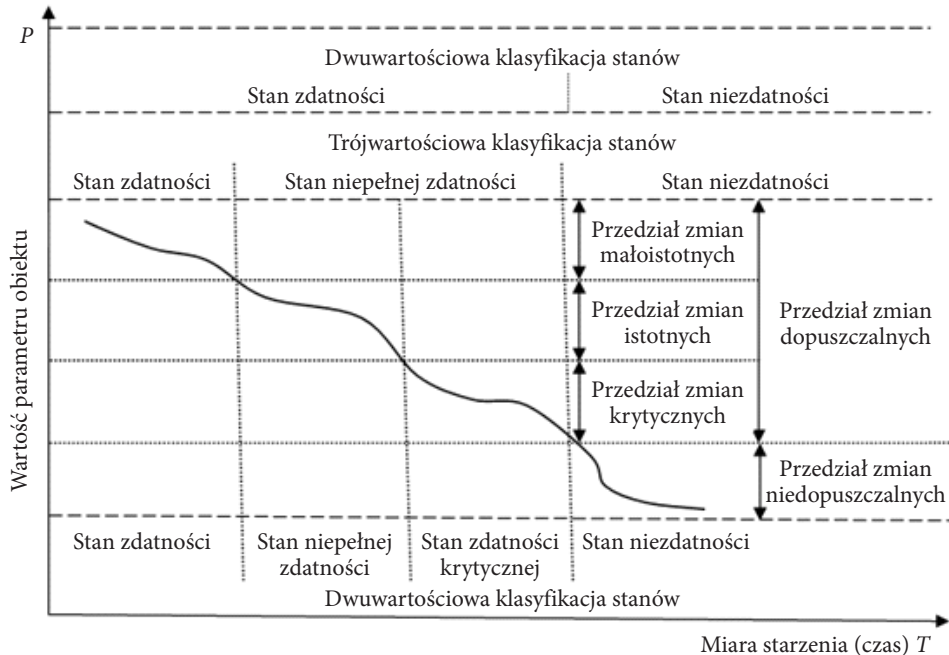
Diagnostyka techniczna w ostatnich latach efektywnie się rozwija, procesowi temu sprzyja wykorzystanie w diagnostyce procesów technologicznych oraz urządzeń technicznych sztucznej inteligencji. Efektywnie w diagnostyce technicznej stosowane są programy diagnostyczne z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych oraz programy funkcjonujące na bazie algorytmów ewolucyjnych i genetycznych, w tym mrówkowych i innych [7, 18-19]. Autorzy artykułu systematycznie doskonalili diagnostykę urządzeń technicznych poprzez doskonalenie metody diagnostyki polegającej na porównaniu obrazów wektorów sygnałów diagnostycznych z ich wzorcami, wykorzystywali w tym celu rozwiązania opracowane na bazie sztucznej inteligencji (program DIAG 2) [4-17]. Program (DIAG 2) jest autorskim rozwiązaniem zespołu badawczego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.

W artykule zaprezentowano zagadnienie dotyczące porównania i analizy wypracowanych diagnoz w logice 2- i 3-wartościowej przez system diagnostyczny (DIAG 2) dla badanych urządzeń elektrowni słonecznej. W literaturze brakuje tego typu opracowań, które jednoznacznie prezentowałyby rozwiązanie tego problemu. Opracowane narzędzie badawcze w postaci systemu diagnostycznego (DIAG 2) stwarza możliwość realizacji tego typu badania.

## 2. Wnioskowanie w logice trójwartościowej

Logika trójwartościowa jest szczególnym przypadkiem logiki  $k$ -wartościowej. Pełny opis problematyki dotyczącej opracowania reguł wnioskowania diagnostycznego oraz diagnozowania obiektów z wykorzystaniem logiki trójwartościowej przedstawiono w pracach [4-8]. Logika 3-wartościowa charakteryzuje się tym, że

jej funkcje i argumenty mogą przyjmować jedną z trzech wartości określanych przez symbole  $\{0, 1, 2\}$ . Istotę diagnozowania obiektów w logice trójwartościowej przedstawiono na rysunku 1. W procesie diagnozowania przyporządkowujemy rzeczywistemu stanowi badanego obiektu jeden ze stanów z następującego zbioru  $\{0, 1, 2\}$  (rys. 1) [1, 3-17].



Rys. 1. Schemat klasyfikacji stanów obiektu w logice 2-, 3- i 4-wartościowej

Wyróżnione stany w obiekcie oznaczają:

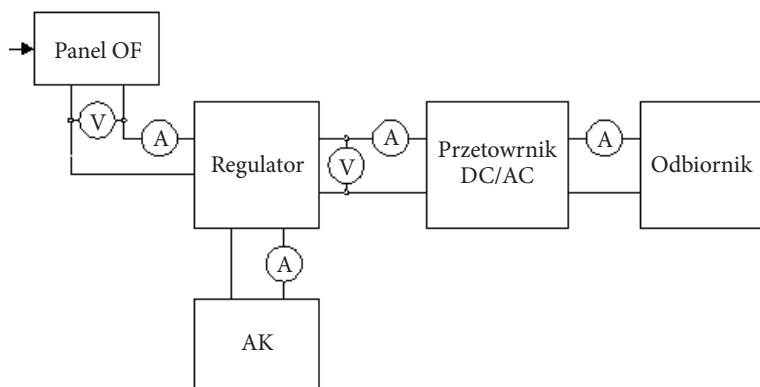
- $\{2\}$  — stan zdatności to taki stan, w którym obiekt posiada zdolność do wykonywania zadań w ograniczonym zakresie, a zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału musi mieścić się w przedziale zmian istotnych;
- $\{1\}$  — stan niepełnej zdatności jest takim stanem, w którym obiekt posiada częściową (niepełną) zdolność do wykonywania zadań w mocno ograniczonym zakresie, a zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału musi mieścić się w przedziale zmian krytycznych. Jest to stan poprzedzający wystąpienie uszkodzenia i wymagający podjęcia czynności naprawczych odnawiających obiekt;
- $\{0\}$  — stan niezdatności to stan, w którym obiekt utracił swój zasób funkcjonowania i obiekt nie jest zdolny do wykonywania swoich zadań zgodnie z przeznaczeniem. W tym stanie nastąpiła zmiana wartości przynajmniej jednej cechy sygnału, która nie mieści się w przedziale zmian niedopuszczalnych.

Wprowadzenie dodatkowego stanu charakteryzującego obiekt techniczny zwiększa dostępną informację diagnostyczną, powodując również zwiększenie zakresu przedziału zmian istotnych. Uzyskana w ten sposób informacja pozwala dokładniej określić czas starzenia (zużywania) się obiektu, który stanowi ważną część pełnego okresu eksploatacji. Dodatkowo umożliwia dokładniejsze określenie rozregulowań, rozstrojeń, zaniżenia wartości parametrów obiektu, które możliwe są do usunięcia za pomocą napraw i regulacji. Rozpoznanie jednego ze stanów częściowej lub krytycznej zdatności, należących do tego przedziału, powinno skutkować podjęciem decyzji o przeprowadzeniu obsługi i odnowy technicznej.

### 3. Struktura funkcjonalno-diagnostyczna urządzeń zasilania z układem fotowoltaicznym

Małe elektrownie słoneczne (rys. 2) zwykle pracują w połączeniu z gromadzeniem (magazynem) energii elektrycznej w postaci baterii akumulatorów i posiadają następujące elementy składowe:

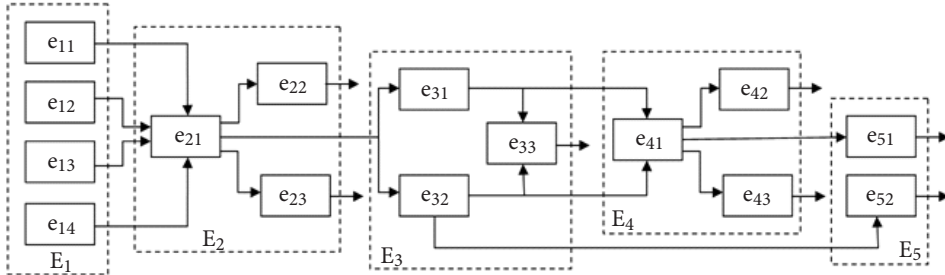
- generator *PV* (moduły fotowoltaiczne),
- baterie akumulatorów,
- sterownik stanu naładowania akumulatorów,
- obciążenie stałoprądowe (DC) lub/oraz
- falownik i obciążenie zmiennoprądowe (AC).



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do charakterystyki ogniwa fotowoltaicznego, gdzie: panel OF — ogniwo-fotowoltaiczne; Ak — akumulator; A — amperomierz; V — woltomierz

Schemat obwodu elektrycznego systemu zasilania elektrycznego z układu energii odnawialnej, w oparciu o który dokonywane jest badanie układu zasilania, przedstawiono na rysunku 3. Znajduje się na nim aparatura pomiarowa stosowana

w tym badaniu. Obwód baterii słonecznej zamyka się przez regulator. Prąd zwarcia  $I$  mierzy amperomierz  $A$ , a napięcie na wyjściu układu  $U$  woltomierz  $V$ .



Rys. 3. Schemat struktury funkcjonalno-diagnostycznej urządzeń w systemie elektrowni słonecznej

Podstawą diagnostyki technicznej urządzeń i obiektów technicznych  $\{O(e_{i,j})\}$  jest wykonanie opracowania diagnostycznego badanego obiektu [4-17]. Opracowanie diagnostyczne badanego obiektu to szereg działań i czynności techniczno-technologicznych, a także działań analitycznych. Ich efektem jest opracowanie schematu funkcjonalno-diagnostycznego, struktury obiektu technicznego zestawionej w postaci jego  $j$ -tych elementów funkcjonalnych oraz wyznaczenie zbioru sygnałów diagnostycznych  $\{X_{i,j}\}$ . Zespoły funkcjonalne obiektu (unity) zobrazowane na schemacie funkcjonalno-diagnostycznym przedstawionym na rysunku 3 „adresowane” — numerowane są w następujący sposób — ( $E_i$ ) jest  $i$ -jest numerem zespołu w obiekcie. Elementy zespołu „adresowane” są natomiast w postaci ( $e_{i,j}$ ), gdzie:  $j$ -ty oznacza numer elementu w  $i$ -tym zespole [4-17].

Wyznaczony na podstawie schematu funkcjonalno-diagnostycznego (rys. 3) zbiór elementów podstawowych, które wypracowują sygnały diagnostyczne w badanym systemie zasilania energią słoneczną, zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Struktura wewnętrzna obiektu

Zespoły obiektu	Elementy podstawowe obiektu $\{e_{i,j}\}$			
$E_i$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$E_1$	$e_{1,1}$	$e_{1,2}$	$e_{1,3}$	$e_{1,4}$
$E_2$	$e_{2,1}$	$e_{2,2}$	$e_{2,3}$	$\emptyset$
$E_3$	$e_{3,1}$	$e_{3,2}$	$e_{3,3}$	$\emptyset$
$E_4$	$e_{4,1}$	$e_{4,2}$	$e_{4,3}$	$\emptyset$
$E_5$	$e_{5,1}$	$e_{5,2}$	$\emptyset$	$\emptyset$

Przyjmuje się, że wyróżniony w schemacie struktury obiektu  $j$ -ty element lub moduł podstawowy to taki element (moduł) obiektu, który jest już niepodzielny w swej strukturze, a który wypracowuje swój sygnał wyjściowy. Sygnał ten dalej jest nazywany sygnałem pomiarowym lub sygnałem diagnostycznym. W przypadku gdy element wypracowuje więcej niż jeden sygnał wyjściowy, wówczas należy wyznaczyć tylko jeden sygnał uogólniony, który najbardziej odzwierciedla własności użytkowe (diagnostyczne, niezawodnościowe itp.) danego  $j$ -tego elementu. Wyznaczony w obiekcie zbiór  $j$ -tych sygnałów diagnostycznych w systemie zasilania energią słoneczną przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2

Zbiór elementów podstawowych i ich sygnałów diagnostycznych w systemie zasilania energią słoneczną

Zespoły obiektu		Elementy podstawowe obiektu		Sygnały diagnostyczne w $j$ -tych elementach
Symbol	Nazwa zespołu	Symbol	Nazwa elementu obiektu	
E <sub>1</sub>	układ fotowoltaiczny	e <sub>1,1</sub>	moduł PV nr 1	X(e <sub>1,1</sub> )
		e <sub>1,2</sub>	moduł PV nr 2	X(e <sub>1,2</sub> )
		e <sub>1,3</sub>	moduł PV nr 3	X(e <sub>1,3</sub> )
		e <sub>1,4</sub>	moduł PV nr 4	X(e <sub>1,4</sub> )
E <sub>2</sub>	układ regulatora napięcia (sterownika)	e <sub>2,1</sub>	regulator napięcia (sterownika)	X(e <sub>2,1</sub> )
		e <sub>2,2</sub>	układ pomiaru napięcia	X(e <sub>2,2</sub> )
		e <sub>2,3</sub>	układ pomiaru natężenia prądu	X(e <sub>2,3</sub> )
E <sub>3</sub>	układ gromadzący energię elektryczną	e <sub>3,1</sub>	akumulator nr 1	X(e <sub>3,1</sub> )
		e <sub>3,2</sub>	akumulator nr 2	X(e <sub>3,2</sub> )
		e <sub>3,3</sub>	układ pomiaru natężenia prądu	X(e <sub>3,3</sub> )
E <sub>4</sub>	przetwornik DC/AC	e <sub>4,1</sub>	falownik (zespół PWM)	X(e <sub>4,1</sub> )
		e <sub>4,2</sub>	układ pomiaru napięcia	X(e <sub>4,2</sub> )
		e <sub>4,3</sub>	układ pomiaru natężenia prądu	X(e <sub>4,3</sub> )
E <sub>5</sub>	układ odbiorczy	e <sub>5,1</sub>	odbiornik nr 1	X(e <sub>5,1</sub> )
		e <sub>5,2</sub>	odbiornik nr 2	X(e <sub>5,2</sub> )

Na potrzeby diagnostyki realizowanej w badanym systemie zasilania energią słoneczną z wykorzystaniem programu (DIAG 2) dokonano pomiarów wartości sygnałów diagnostycznych i ich wzorców, które zestawiono w tabelach 3 i 4.

TABELA 3

Tablica wzorcowych sygnałów diagnostycznych obiektu

Zespoły obiektu	Wartości sygnałów wzorcowych $\{X_{(w)}(e_{ij})\}$ obiektu			
$E_i$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$E_1$	11,7÷12,4	11,7÷12,4	11,7÷12,4	11,7÷12,4
$E_2$	11,7÷12,4	11,7÷12,4	1÷4	∅
$E_3$	11,7÷12,4	11,7÷12,4	0,5÷4	∅
$E_4$	220÷235	220÷235	0,5÷10	∅
$E_5$	220÷235	11,7÷12,4	∅	∅

TABELA 4

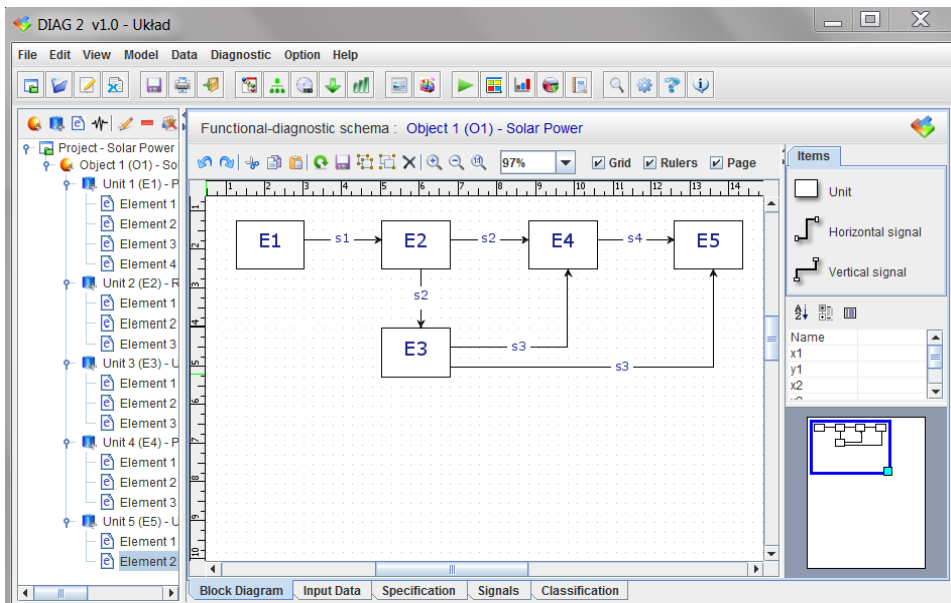
Tablica sygnałów diagnostycznych obiektu (przykład)

Zespoły obiektu	Wartości sygnałów wzorcowych $\{X_{(w)}(e_{ij})\}$ obiektu			
$E_i$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$E_1$	11,7	12,4	12,4	11,7
$E_2$	12,4	11,7	3,5	∅
$E_3$	11,7	12,4	4	∅
$E_4$	226	230	7	∅
$E_5$	228	12,4	∅	∅

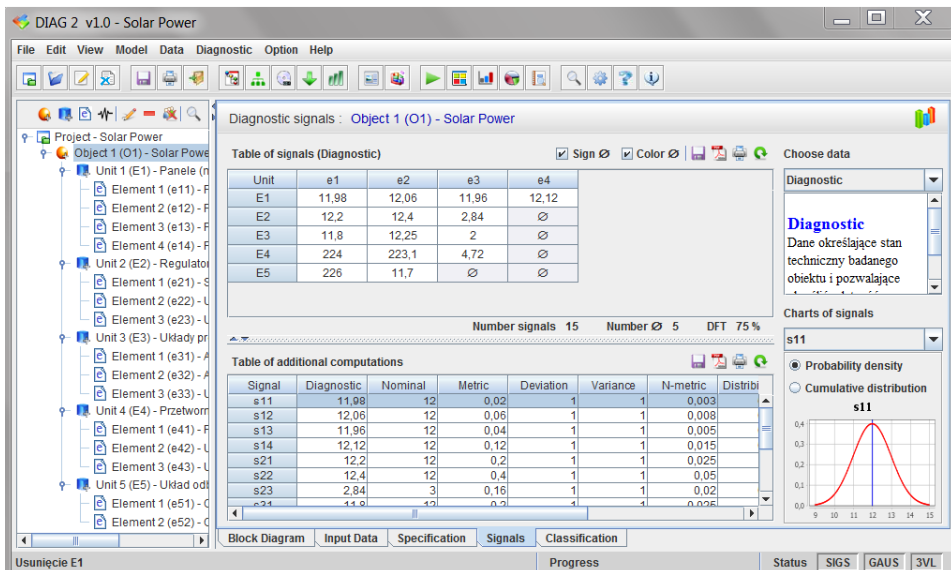
#### 4. Porównanie diagnostyki urządzeń elektrowni słonecznej w logice 2- i 3-wartościowej

Zespoły funkcjonalne obiektu przedstawiane są w systemie diagnostycznym (DIAG 2) jako „unity”, a elementy podstawowe jako „elementy”. Natomiast podzespoły jako elementy poziomu trzeciego pełnią rolę „elementów pośrednich” umożliwiających dwukierunkowe przekształcenie hierarchicznej postaci obiektu do macierzowej struktury wewnętrznej przedstawionej na rysunku 4 i 5.

Stan diagnostyczny obiektu określany jest w programie (DIAG 2) na podstawie badania zbioru sygnałów wektora wyjściowych (diagnostycznych) i porównywaniu ich z wektorami wzorcowymi [2-13]. Etap klasyfikacji w procesie diagnozowania wyznacza zatem określony stan dla każdego elementu podstawowego badanego obiektu technicznego. Klasyfikacja stanów dla zespołów funkcjonalnych lub samego obiektu określana jest na podstawie reguł klasyfikacji i zależy od wartościowości logiki (liczby jej stanów) (rys. 6 i 7).



Rys. 4. Postać wynikowa programu „DIAG 2” dla modułu „Struktura”



Rys. 5. Panel klasyfikacji obiektu technicznego dla modułu „Wartości sygnałów”



Classification of states : Object 1 (O1) - Solar Power

Type of logic: Logic: Two-states { 0, 1 }

ε1: 0,9 ε2: 0,98 ε3: 0,98

RBF Network Options: Type of function: Gaussian σ: 1 LE: 1000 LC: 10000

Tables of states

Unit	e1	e2	e3	e4
E1	1	1	1	1
E2	1	1	1	1
E3	1	1	0	1
E4	1	1	1	1
E5	1	1	1	1

Unit	Object
E1	0
E2	1
E3	0
E4	1
E5	1

Rys. 6. Postać wynikowa programu „DIAG 2” „Tablice stanów” w procesie diagnostycznym urządzeń elektrowni słonecznej w logice 2-wartościowej, gdzie: {1} — stan zdadności; {0} — stan niezadności

Classification of states : Object 1 (O1) - Solar Power

Type of logic: Logic: Three-states { 0, 1, 2 }

ε1: 0,9 ε2: 0,98 ε3: 0,98

RBF Network Options: Type of function: Gaussian σ: 1 LE: 1000 LC: 10000

Tables of states

Unit	e1	e2	e3	e4
E1	2	2	2	2
E2	2	1	1	2
E3	2	1	0	2
E4	2	2	1	2
E5	1	1	1	1

Unit	Object
E1	0
E2	1
E3	0
E4	1
E5	1

Rys. 7. Postać wynikowa programu „DIAG 2” „Tablice stanów” w procesie diagnostycznym urządzeń elektrowni słonecznej w logice 3-wartościowej, gdzie: {2} — stan zdadności; {1} — stan niepełnej zdadności; {0} — stan niezadności

Proces klasyfikacji stanów w opisywanym systemie komputerowym realizowany jest po wybraniu z paska narzędziowego panelu „Classification”. W panelu tym występują opcje konfiguracyjne i wynikowe tablice stanów (mapy stanów). W ramach konfiguracji można określić: typ logiki stanów, zakres ich przedziałów, opcje prezentacji wizualnej w tablicy stanów oraz parametry sieci RBF. Przyjęte stany obiektu dla logiki wielowartościowej określono w polskich normach dotyczących niezawodności i jakości obsługi [4, 15] (rys. 6 i 7).

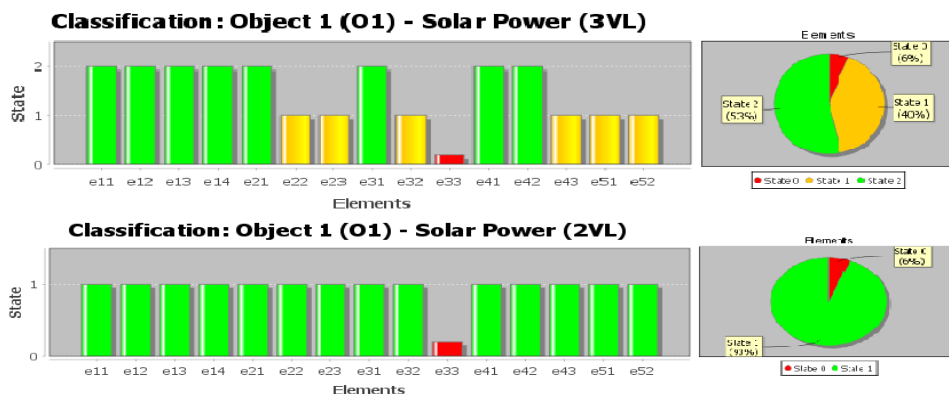
Postać wynikową pracy systemu diagnostycznego DIAG 2 monitorującego stan użytkownika systemu elektrowni słonecznej zobrazowano na rysunkach 6 i 7. Informacja diagnostyczna jest wyrażana w badanej logice 2- i 3-wartościowej. Informacja zobrazowana na rysunku 4 w postaci „Struktury” badanego obiektu przedstawiana jest jako wielopoziomowa struktura wewnętrzna badanego obiektu w postaci struktury  $i$ -tych zespołów funkcjonalnych obiektu lub wybranej struktury  $j$ -tych elementów w  $i$ -tych zespołach.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono wynikową (końcową) postać informacji diagnostycznej w logice 2- i 3-wartościowej. To końcowa postać informacji diagnostycznej o stanach badanego obiektu, w którego strukturze wewnętrznej przedstawiono 15  $j$ -tych elementów podstawowych (modułów) znajdujących się w  $i$ -tych zespołach funkcjonalnych obiektu. Na pierwszym poziomie informacji diagnostycznej badanego obiektu zobrazowanej na rysunkach 6 i 7 jest „Tablica stanów elementów podstawowych” w postaci wartości logicznych stanów ze zbioru  $\{2, 1, 0\}$ . Na drugim i trzecim poziomie informacji diagnostycznej badanego obiektu może być przedstawiana informacja o stanach  $i$ -tych zespołów lub informacja o stanie obiektu.

Z analizy rysunku 6 wynika, że elementy podstawowe z podzbioru  $\{e_{1,1}; e_{1,2}; e_{1,3}; e_{1,4}; e_{2,1}; e_{2,2}; e_{2,3}; e_{3,1}; e_{3,2}; e_{4,1}; e_{4,2}; e_{4,3}; e_{5,1}; e_{5,2}\}$  posiadają stan „1” — stan zdatności. Procentowy udział  $j$ -tych elementów w  $i$ -tych zespołach obiektu, które posiadają stan zdatności w strukturze badanego obiektu, stanowi 94%. Natomiast tylko jeden badany element podstawowy  $\{e_{3,3}\}$  posiada stan „0” — stan niezdatności. Procentowy udział tego  $j$ -tego elementu o stanie niezdatności w strukturze badanego obiektu stanowi 6%.

Z analizy rysunku 7 wynika, że elementy podstawowe z podzbioru  $\{e_{1,1}; e_{1,2}; e_{1,3}; e_{1,4}; e_{2,1}; e_{3,1}; e_{4,1}; e_{4,2}\}$  posiadają stan „2” — stan zdatności. Procentowy udział tych elementów o stanie zdatności w strukturze badanego obiektu to 54%. Pozostałym badanym podzbiorem elementów podstawowych ze zbioru  $\{e_{2,2}; e_{2,3}; e_{3,2}; e_{4,3}; e_{5,1}; e_{5,2}\}$  są elementy, które posiadają stan „1” — stan niepełnej zdatności. Procentowy udział  $j$ -tych elementów o stanie niepełnej zdatności w strukturze badanego obiektu stanowi 40%. Natomiast tylko jeden element podstawowy  $\{e_{3,3}\}$  posiada stan „0” — stan niezdatności. Procentowy udział tego elementu o stanie niezdatności w strukturze badanego obiektu wynosi 6%.

Na rysunku 8 przedstawiono ekran zbiorczej informacji diagnostycznej w programie (DIAG 2) przy diagnozowaniu w logice 3-wartościowej (3VL) oraz diagnozy wyrażanej w logice 2-wartościowej (2VL).



Rys. 8. Ekran zbiorczej informacji diagnostycznej w programie DIAG 2 w procesie diagnostycznym urządzeń elektrowni słonecznej w logice 2- i 3-wartościowej

Z analizy rysunku 8 wynika, że w obiekcie dla obu badanych wartościowości logik oceny stanów system (DIAG 2) rozpoznał wśród elementów konstrukcyjnych obiektu tylko jeden element o stanie „0” — stan niezdatności. Na tej podstawie można stwierdzić, że reguły wnioskujące opracowane w systemie (DIAG 2) są prawidłowe. Wnioskowanie oraz informacyjność diagnoz w logice 3-wartościowej (3VL) jest bardziej informacyjne, ponieważ system (DIAG 2) dodatkowo rozpoznaje stan {1} — stan niepełnej zdatności.

Można zatem stwierdzić, co jest już znane np. z rozważań teoretycznych przedstawianych w literaturze [2-13], że zinterpretowany w logice 3-wartościowej podzbiór elementów obiektu posiadających stan „1”, stan niepełnej zdatności, czyni tę logikę bogatszą informacyjnie niż logika 2-wartościowa (2VL).

Na podstawie wyników uzyskanych z badań wynika, że diagnozy przedstawione w logice 3-wartościowej pod względem informacyjności są większe (bardziej bogate) niż diagnozy wyrażane w logice 2-wartościowej. Wykorzystując procentowy udział  $j$ -tych elementów o stanie niepełnej zdatności, stan — {1}, w strukturze badanego obiektu, można na tej podstawie stwierdzić, że uzysk informacyjny diagnostyki trójwartościowej jest w stosunku do diagnostyki dwuwartościowej 40% większy. Na tej podstawie można wykazać, że zastosowanie w procesie diagnozowania obiektów technicznych w logice 3-wartościowej czyni diagnostykę w logice 3-wartościowej bardziej przydatną do potrzeb wykorzystania tej informacji w procesie organizacji obsługiwań technicznych. Zinterpretowanie (rozpoznanie) stanu niepełnej zdatności w obiekcie daje możliwość zastosowania optymalnej strategii

organizacji obsługiwanego technicznego (odnawiania) obiektu na podstawie jego stanu. Informacja diagnostyczna wyrażana w logice 2-wartościowej jest zatem zbyt mało informacyjna w tym względzie. Problematyka dotycząca efektywności logiki 3-wartościowej oraz wykorzystania jej w zastosowaniach obsługowych jest w pełni i szeroko przedstawiana w publikacjach [4-8].

## 5. Podsumowanie

Logika trójwartościowa charakteryzuje się tym w stosunku do diagnostyki w logice dwuwartościowej, że jej funkcje i argumenty mogą przyjmować jedną z trzech wartości określanych przez symbole ze zbioru  $\{0, 1, 2\}$ . Wprowadzenie w logice 3-wartościowej dodatkowego stanu niezawodnościowego (technicznego) charakteryzującego obiekt techniczny zwiększa dostępną dla badającego informację diagnostyczną. Uzyskana w ten sposób informacja o stanie niepełnej zdatności pozwala dokładniej określić czas wystąpienia w obiekcie stanu przeduszkodzeniowego. Zidentyfikowanie stanu zdatności niepełnej pozwala na dokładniejsze określenie czasu wystąpienia w obiekcie stanu będącego najczęściej przyczyną: rozregulowań, rozstrojeń, zaniżenia wartości parametrów użytkowych obiektu, które możliwe są do usunięcia za pomocą czynności regenerujących obiekt w procesie obsługi. Rozpoznanie jednego ze stanów częściowej lub krytycznej zdatności, należących do tego przedziału, powinno skutkować podjęciem decyzji o przeprowadzeniu odnowy technicznej badanego obiektu.

Praca finansowana z Projektu Badawczego Statutowego Politechniki Koszalińskiej nr 504.02.12.

Artykuł wpłynął do redakcji 2.12.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 19.12.2016 r.

### LITERATURA

- [1] BĘDKOWSKI L., DĄBROWSKI T., *Podstawy eksploatacji, cz. II, Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wyd. WAT, Warszawa, 2006, s. 187.
- [2] BĘDKOWSKI L., *Elementy ogólnej teorii diagnostyki technicznej*, WAT, Warszawa, 1981.
- [3] BOLC L., *Wnioskowanie w logikach nieklasycznych. Automatyzacja wnioskowania*, AOW, Warszawa, 1998.
- [4] DUER S., *Artificial Neural Network-based technique for operation process control of a technical object*, Defence Science Journal, DESIDOC, vol. 59, no. 3, May 2009, pp. 305-313.
- [5] DUER S., *Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2012, s. 242.
- [6] DUER S., *Artificial neural network in the control process of object's states basis for organization of a servicing system of a technical objects*, Neural Computing & Applications, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 153-160.

- [7] DUER S., *Inteligentny system wspomagający proces odnawiania cech eksploatacyjnych w złożonych obiektach technicznych*, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2012, s. 242.
- [8] DUER S., *Applications of an artificial intelligence for servicing of a technical object*, Neural Computing & Applications, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 955-968.
- [9] DUER S., ZAJKOWSKI K., PŁOCHA I., DUER R., *Training of an artificial neural network in the diagnostic system of a technical object*, Neural Computing & Applications, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 1581-1590.
- [10] DUER S., ZAJKOWSKI K., DUER R., BERNATOWICZ B., WRZESIEŃ P., *Inteligentny system nadzoru i bezpieczeństwa dla farmy wiatrowej*, Logistyka, 6, 2014, s. 3312-3321.
- [11] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Wykorzystanie logiki czterowartościowej w komputerowym programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, 3, 2015, s. 1008-1116.
- [12] DUER S., BERNATOWICZ D., DUER R., *Metoda wnioskowania w logice wielowartościowej w programie diagnostycznym DIAG 2*, Logistyka, 3, 2015, s. 1100-1108.
- [13] DUER S., ZAJKOWSKI K., SOKOŁOWSKI S., PALKOVA Z., LUKAC O., *Przygotowanie informacji diagnostycznej o badanym obiekcie technicznym na potrzeby procesu diagnozowania w logice wielowartościowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1132-1140.
- [14] DUER S., ZAJKOWSKI K., WRZESIEŃ P., DUER R., *Diagnostyka użytkowania urządzeń elektrowni wiatrowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1140-1148.
- [15] DUER S., WRZESIEŃ P., DUER R., *Projekt systemu ekspertowego wspomagającego użytkowanie elektrowni wiatrowej*, Logistyka, 3, 2015, s. 1116-1124.
- [16] DUER S., ZAJKOWSKI K., DUER R., *Zastosowanie logiki 4-wartościowej w procesie wnioskowania w systemach diagnostycznych*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, vol. 65, nr 2, 2016, s. 41-52.
- [17] DUER S., ZAJKOWSKI K., PALKOVA Z., LUKAC O., POKORADI L., DUER R., BERNATOWICZ D., *Wnioskowanie w logice 4-wartościowej w inteligentnych systemach diagnostycznych i bezpieczeństwa*, XXX Konferencja Międzynarodowa „Ekomilitaris 2016”, 13-16 września 2016, Zakopane, s. 112-116.
- [18] FLASIŃSKI M., *Wstęp do teorii sztucznej inteligencji*, Wyd. PWN, Warszawa, 2011.
- [19] HOJJAT A., SHIH-LIN H., *Machine learning, neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*, John Wiley and Sons, Inc, 1995.

R. DUER, S. DUER

### Diagnostic testing the solar power equipment in logic 2- and 3- valuable

**Abstract.** The article presents the problem of the study of developed diagnoses in logic2- and 3-valuable diagnostic system (DIAG 2) devices of the solar power. For this purpose, a functional-diagnostic model of solar power devices has been described. On the basis of the elaborated model of the investigated object, a set of basic elements and a set of diagnostic signals, that are generated by the  $j$ -th elements of the functional object, have been determined. Also, there was given a brief description of intelligent diagnostic (DIAG 2) system used for the study. The system (DIAG 2) is a proprietary development of the authors. Diagnostic software in (DIAG 2) system works on the principle of comparison of the set of vectors of diagnostic signals with their standard vectors. By comparing the signals, elementary metrics of vectors disparity of diagnostic signals are determined by the neural network. On the basis of the metrics of differential distance, the system inferences about the diagnosis on the state of elements of a basic object.

**Keywords:** technical diagnostics, diagnostic reasoning, multivalent logic, artificial intelligence

**DOI:** 10.5604/01.3001.0009.9485

